

This Page Is Inserted by IFW Operations
and is not a part of the Official Record

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images may include (but are not limited to):

- BLACK BORDERS
- TEXT CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- FADED TEXT
- ILLEGIBLE TEXT
- SKEWED/SLANTED IMAGES
- COLORED PHOTOS
- BLACK OR VERY BLACK AND WHITE DARK PHOTOS
- GRAY SCALE DOCUMENTS

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

**As rescanning documents *will not* correct images,
please do not report the images to the
Image Problem Mailbox.**

3

19 BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENTAMT

12 Offenlegungsschrift
11 DE 3931497 A1

51 Int. Cl. 5:
G01 N 15/02
G 01 N 27/74
G 01 N 21/85
G 01 N 33/28

21 Aktenzeichen: P 39 31 497.9
22 Anmeldetag: 21. 9. 89
43 Offenlegungstag: 18. 4. 91

DE 3931497 A1

71 Anmelder:
Sensoplan Messtechnik GmbH, 8122 Penzberg, DE

74 Vertreter:
Haft, U., Dipl.-Phys.; Czybulka, U., Dipl.-Phys., 8000
München; Berngruber, O., Dipl.-Chem. Dr.rer.nat.,
Pat.-Anwälte, 8232 Bayerisch Gmain

72 Erfinder:
Köhnlechner, Rainer, Dipl.-Ing. Dr., 8122 Penzberg,
DE

56 Für die Beurteilung der Patentfähigkeit
in Betracht zu ziehende Druckschriften:

DE 34 47 656 C2
DE-PS 10 13 446
DE-AS 12 20 240
DE 37 33 573 A1
DE 34 16 595 A1
DE 34 13 656 A1

DE	33 15 194 A1	GB	6 67 963
DE	27 36 186 A1	US	48 41 244
DE	27 16 880 A1	US	45 70 069
DE	26 37 026 A1	US	40 47 814
DE	86 28 630 U1	US	37 39 180
DE	85 30 573 U1	US	29 82 409
DE-GM	72 15 026	EP	02 25 741 A1
CH	6 29 593	EP	00 39 244 A1
GB	21 80 352 A	EP	1 96 205 A2
GB	20 29 580 A	WO	89 02 066
GB	20 00 295 A		

DE-Z: BÜRKHOLZ, A.: Meßmethoden zur
Tropfengrößenbestimmung. In: Chemie Ingenieur
Technik, 45.Jg., 1973, Nr.1, S.1-7;
- DE-Z: MÜHLE, J.: Untersuchung von
Partikelbahnen in gekrümmten Strömungen. In:
Chemie-Ing.Techn., 44.Jg., 1972, Nr.11, S.889-899;
- JP Patents Abstracts of Japan: 60-11145 A., P-360,
May 31, 1985, Vol. 9, No.127;
59-163521A., P-329, Jan.23, 1985, Vol. 9, No. 16;

54 Vorrichtung zum Erfassen von Verschmutzungen in Fluiden, insbesondere Schmierstoffen

Mit der erfindungsgemäßen Vorrichtung können sämtliche metallische Partikel und sämtliche als Luftbläschen oder Wasserbeimengungen in Schmierstoffen vorliegende Verschmutzungen aufgespürt werden. Durch geeignete elektronische Auswertung der mit Hilfe von einem induktiv arbeitenden Sensor abgegebenen Signale ist es möglich, diese in hydraulischen oder schmierungstechnischen Anlagen unerwünschten Verunreinigungen großemäßig zu bestimmen.

Durch Einordnen der partikelgrößenabhängigen Signale in verschiedene, voneinander getrennte Klassen durch geeignete logische Verknüpfung drohende Ausfälle von Maschinenelementen infolge Verschleiß rechtzeitig zu erkennen und vor der »Katastrophe« Alarm zu geben.

DE 3931497 A1

Beschreibung

Die Erfindung betrifft eine Vorrichtung laut Oberbegriff des Anspruchs 1.

Durch flüssige Schmierstoffe geschmierte Maschinenteile, wie Wälzlager, Zahnräder, Wellen, Pumpen, Hydraulikmotoren, Achsen und Zylinder usw., haben trotz der Schmierung während ihrer Bewegung mit anderen Maschinenteilen Berührung. Sie unterliegen deshalb während des Betriebes einem permanenten Verschleiß.

Diesen Verschleiß kann man durch konstruktive Maßnahmen, durch Optimierung und Pflege der Schmierstoffe (die den Verschleiß zwar sehr stark verringern, aber nicht vollständig ausschließen können), durch regelmäßige Prüfung der Gebrauchsfähigkeit der Schmierstoffe und durch andere Maßnahmen zwar reduzieren, aber nicht vollständig ausschließen.

Durch diesen kontinuierlichen Verschleiß werden Partikel aus dem metallischen Verbund herausgelöst. Solche Partikel fallen bereits während des normalen Betriebs der geschmierten Einrichtung durch den durch die unvermeidliche mechanische Punkt-, Linien- oder Flächenberührung hervorgerufenen Verschleiß der kraftübertragenden Flächen an. Dies ist besonders dann der Fall, wenn die Einrichtung noch neu ist und die kraftübertragenden Flächen von Zahnrädern, Lagern, Dichtungen und dergleichen sich im Anfangverschleißprozeß befinden, der als Einlaufzeit bezeichnet wird.

Untersuchungen haben ergeben, daß während des beim normalen Betrieb auftretenden Verschleißes Partikel vor allem in der Größenordnung zwischen 0,5 und 10 µm erzeugt werden. Sie werden durch den Schmierstoff abtransportiert und zum Teil durch geeignete Filter 5 aus dem Flüssigkeitsstrom abgeschieden.

Kann sich nun durch falsche konstruktive Auslegung, zu geringe Schmierstoffzufuhr, Luftblasen im Schmierstoff o. ä. kein ausreichend tragfähiger Schmierfilm zwischen den sich berührenden Maschinenteilen ausbilden oder tritt durch Werkstoffermüdung oder Werkstofffehler und sonstige Einflüsse eine starke Überbeanspruchung der Reibflächen auf, kann es langfristig zu einem dauernden Schaden der Maschinenteile kommen.

Ein beginnender Schaden an einem aus metallischen Werkstoffen hergestellten Maschinenteil, der langfristig zum Ausfallen dieses Maschinenteiles führen kann, äußert sich in einer erhöhten Produktion von größeren Partikeln. Diese Metallpartikel, die durch Freßvorgänge, Mikrozerspanung, Grübchenbildung (Pittings), Absplitterungen und durch Bruchschäden hervorgerufen werden, treten in unterschiedlichsten Formen wie z. B. als pulverförmige Metallpartikel, Splitter, Plättchen, Späne und ganze Bruchstücke auf. Aufgrund der verwendeten Werkstoffe können die Metallpartikel aus Stahl, Edelstahl, Sonderstählen, Aluminium, Magnesium, Kupfer, Bronze, Zink, Messing, Chrom-Nickel (Oberflächenbeschichtungsmaterialien) und anderen bestehen.

Mikroskopische Untersuchungen der Partikel haben ergeben, daß sich bei beginnendem Ausfall eines Bauelementes das Teilchenspektrum von Partikelgrößen zwischen ca. 0,5 und 10 µm beim normalen Betrieb hin zu größeren Partikeln verschiebt. Wenn eine statistisch relevante Zunahme der Partikel ab einer bestimmten Größe (z. B. 100 µm) erfolgt, kann davon ausgegangen werden, daß eine Überlastung der Maschine vorliegt. Es ist daher möglich, anhand der Zunahme großer Partikel einen beginnenden, erhöhten Verschleiß vorherzusagen.

Will man übermäßigen Verschleiß und daraus eine

u. U. resultierende Bruch- oder Zerstörungsgefahr rechtzeitig erkennen, ist es erforderlich, mit einem geeigneten Meß- und Auswerteverfahren diese großen metallischen Partikel eindeutig zu erfassen.

Damit wird der Anlagenbetreiber vor einem möglicherweise drohenden Schaden gewarnt, so daß die gefährdete Maschine vor der Zerstörung abgeschaltet und anschließend rechtzeitig Reparaturen durchgeführt werden können.

Wegen der relativ geringen Anzahl von Partikeln, die ein derartiges Versagen ankündigen, muß gewährleistet sein, daß für eine präzise und abgesicherte Aussage über einen drohenden Totalausfall sämtliche relevanten Metallpartikel erfaßt werden. Außerdem muß ein Fehlalarm mit Sicherheit ausgeschlossen werden.

Stand der Technik

Zur Erfassung von metallischen Verschmutzungen werden bisher verschiedene diskontinuierliche Analyseverfahren, wie z. B. die Ferrographie, spektrometrische Ölanalysen u. ä., eingesetzt. Dazu wird eine Probe des Schmierstoffes gezogen und im Labor ausgewertet. Bei der Magnetstopfenmethode werden über längere Zeit metallische Abriebteilchen gesammelt und anschließend im Labor ausgezählt.

Sensoren zur kontinuierlichen Erfassung von metallischen Partikeln in Flüssigkeiten oder Gasen sind bekannt und beispielsweise in DE-PS 26 49 587, DE-PS 29 33 822 oder DE-PS 30 45 945 beschrieben. All diesen sogenannten "Spanwächtern" ist gemeinsam, daß sie magnetisch arbeiten und daher ausschließlich ferromagnetische Partikel "erkennen" können.

Das Magnetfeld wird dabei entweder durch Dauermagnete oder Elektromagnete erzeugt. Durch Umlenkung oder Verzögerung der Strömung wird außerdem versucht, eine möglichst hohe Abscheiderate der Metallpartikel am Magneten zu erreichen.

Die Auswertung, ob ein Metallpartikelchen "gefangen" wurde, wird entweder durch Erzeugen eines Kurzschlusses zwischen zwei isoliert voneinander untergebrachten Polstiften oder durch magnetische Induktion erreicht. Es sind auch Systeme bekannt, die selektiv ausschließlich große Teile erkennen und diese schadensrelevanten Partikel separat aufsummieren. Damit sind Aussagen über drohende Maschinenschäden bereits möglich.

Nachteil dieser Systeme ist, daß sie nicht in der Lage sind, sämtliche vorhandenen Partikel zu erkennen. Die Abscheiderate beträgt — je nach Einbauart und Strömungsgeschwindigkeiten — schätzungsweise zwischen 5% und 30%.

Schwerwiegendster Nachteil dieser Systeme ist jedoch, daß sie ausschließlich auf ferromagnetische Werkstoffe ansprechen. Edelstähle, Lagermetalle, Aluminium und andere häufig verwendete Metalle können mit diesen Systemen nicht erkannt werden. Da immer häufiger Leichtmetalle, Lagermetalle, Sonderstähle und andere nichtmagnetische Stoffe eingesetzt werden, scheidet für diese Anwendungsmöglichkeiten der Einsatz der eben beschriebenen Geräte vollständig aus.

In (1) wird ein induktiv arbeitender Sensor beschrieben, mit dem es möglich ist, Metallpartikel, die durch eine Flüssigkeit gefördert werden, zu erfassen. Der Sensor besteht aus einem, um einen Spulenkern gewickelten Spulensystem mit Auswerteelektronik. Dieses System ist konstruktionsbedingt nur für Anwendungen bei niedrigen Drücken geeignet.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren und eine Vorrichtung bereitzustellen, mittels der die Verschleißpartikelkonzentration zum Zwecke der sicheren Abschätzung eines Schadens im System bzw. in der Anlage sicher erfaßt werden können.

Diese Aufgabe wird bei einer gattungsgemäßen Vorrichtung gemäß dem Oberbegriff des Hauptanspruchs erfindungsgemäß durch die kennzeichnenden Merkmale des Hauptanspruchs gelöst.

Durch den im Anspruch 1 definierten Sensorkopf ist es möglich, die über eine Mindestgröße liegenden metallischen Partikel in einem Rohrleitungssystem nahezu vollständig zu erfassen.

Verschiedene Anordnungen zur strömungstechnischen Beeinflussung und damit zur Empfindlichkeitssteigerung sind in den Ansprüchen 2, 3 und 4 angegeben.

Zweckmäßige Ausgestaltungen und Weiterbildungen der Erfindung zur Erfassung anderer in Schmierstoffen enthaltenen Verunreinigungen ergeben sich aus den Unteransprüchen im Zusammenhang mit den in der Zeichnung dargestellten bevorzugten Ausführungsbeispielen, deren nachfolgende Beschreibung die Erfindung näher erläutert.

Es zeigen:

Fig. 1 ein Blockschaltbild einer erfindungsgemäßen Überwachungsanlage für Abfallteilchen mit einem Meßfühler;

Fig. 2 einen Querschnitt eines Fühlerkopfes gemäß Anspruch 1;

Fig. 3a zeigt die Entmischung von Schmierstoffen in spezifisch leichtere und schwerere Partikel im Längsschnitt;

Fig. 3b dasselbe im Querschnitt;

Fig. 4 zeigt den prinzipiellen Aufbau der Metallsuchspule im Blockschaltbild;

Fig. 5 zeigt den Aufbau einer Metallsuchspule im Inneren des Sensorkopfes;

Fig. 6a zeigt eine erfindungsgemäße Lösung zur Erhöhung der Empfindlichkeit;

Fig. 6b den Empfindlichkeitsverlauf im Inneren einer Spule;

Fig. 7a zeigt eine mögliche Ausführungsform eines Strömungskörpers zur Drallerzeugung im Längsschnitt;

Fig. 7b dasselbe im Querschnitt;

Fig. 8 eine weitere Ausführungsform eines Drallerzeugers;

Fig. 9;

Fig. 10 ein Blockschaltbild der Sensorelektronik;

Fig. 11 eine schematische Darstellung eines Sensors zum Erfassen von Wasser in einem Fluid;

Fig. 12 eine schematische Darstellung eines Sensors zum Erfassen von Luftblasen, im Längs- und Querschnitt.

Gemäß **Fig. 1** ist ein Sensorkopf 1 in einem Rohrleitungssystem 4 befestigt. Der Sensorkopf 1 ist sowohl für Niederdruck- als auch für Hochdrucksysteme geeignet.

Beim Betrieb einer hydraulischen oder schmierungstechnischen Anlage 3 wird durch Pumpen 2 o. ä. ein kontinuierlicher oder diskontinuierlicher Schmierstoffstrom erzeugt, der im Rohrleitungssystem 4 transportiert wird und zwangsläufig durch den Sensorkopf 1 strömt. Dieser Schmierstoffstrom transportiert bei verunreinigten Anlagen neben kleinen metallischen und nichtmetallischen Partikeln, die von Verunreinigungen, Verschmutzungen, aber auch vom üblichen Abrieb zwischen sich mechanisch berührenden Teilen herrühren, auch große Verschleißpartikel, Wassertropfen und Luftblasen. Die vom Schmierstoffstrom mitgerissenen

Partikel werden üblicherweise in einem Filter 5 abgeschieden.

Luftblasen werden meist durch Entlüftungsgeräte 9 im Rohrleitungssystem oder beim Ausgasen im Vorrats-tank 6 abgeschieden. Häufig ist jedoch eine Luftblasenabscheidung nicht möglich. Sie sammeln sich z. B. an hochgelegenen Rohrleitungsstücken 10 (Luftsäcken) oder an anderen dafür prädestinierten Stellen. Wassertropfen bilden meist mit dem Öl eine Emulsion, die entweder im Filter 5 zurückgehalten wird oder sich im Tank absetzt, wobei das Wasser nach Entmischung auf den Boden des Tanks absinkt.

Extreme Beanspruchungen beispielsweise der Pumpe 2 oder des geschmierten bzw. angetriebenen Systems 3 bewirken einen verstärkten Verschleiß, der bis zur mechanischen Zerstörung der Bauteile infolge von Fressen, Bruch oder sonstiger Schadensursachen führen kann.

Ein derartiger Schaden zeichnet sich üblicherweise bereits einige Zeit vor der eigentlichen Zerstörung ab, indem von der versagenden Einheit 2 oder 3 größere metallische Partikel infolge Zerspanung oder Abbrechen aus dem metallischen Verbund erzeugt werden. Ein derartiges Verschleißpartikel wird — bis zu einer bestimmten maximalen Größe — durch den Schmierstoffstrom mitgerissen und letztendlich durch das Filter 5 abgeschieden.

Setzt man voraus, daß der Sensorkopf 1 so in das Leitungssystem 4 eingebaut ist, daß er nach dem versagenden Bauelement 2 oder 3 und vor dem Rücklaufilter 5 oder dem Tank 6 sitzt, dann werden sämtliche Verschleißpartikel und sonstige Verunreinigungen durch das Innere des Sensorkopfes transportiert. Theoretisch ist es also möglich, 100% der Partikel zu erfassen.

Bei Anwendungen, bei denen sehr große Rohrlungsdurchmesser vorliegen, kann es günstig sein, einen bestimmten Teil des Förderstroms über eine Bypass-Leitung 7 am Verschleiß-Sensor 1 vorbeizulenken. In diesem Fall erfaßt der Sensor nur einen Teil der insgesamt aufgetretenen Verunreinigungen.

Wie aus **Fig. 2** ersichtlich, ist der Sensorkopf 1 an das Rohrleitungssystem 4 mit Hilfe von Flanschanschlüssen, Schneidring-Rohrverschraubungen oder mit anderen handelsüblichen Rohrverbindungselementen 17 angeschlossen, die in der Figur nur symbolisch dargestellt sind.

Der Sensorkopf 1 weist ein druckfestes, vorzugsweise zylindrisches Metallgehäuse 11 auf, das den Sensor umschließt und nach außen hin abdichtet. Der Schmierstoff strömt, von der Pumpe 2 gefördert, in den Sensorkopf.

Vor dem Eintritt in den Sensorkopf sind die festen, flüssigen und gasförmigen Verunreinigungen im Schmierstoff über den gesamten Rohrleitungsquerschnitt in nahezu gleichmäßiger Konzentration verteilt.

Am Einlauf des Sensorkopfes befindet sich eine Vorrichtung 12, die bei Durchströmung durch den Schmierstoff diesem eine Drallströmung aufzwingt. Dadurch werden auf ein Teilchen 13, das durch den Schmierstoff in den Sensorkopf 1 transportiert wird, verschiedene Kräfte wie z. B. Trägheitskräfte, Auftriebskräfte, Gewichtskräfte usw. ausgeübt. In **Fig. 2** ist das Teilchen 13 durch einen idealisierten, gestrichelt dargestellten Stromfaden 14 transportiert dargestellt. Durch die Strömungskräfte wird das Teilchen auf eine strichpunktiert dargestellte, spiralförmige Bahn 15 gezwungen, die gegenüber dem Stromfaden den Winkel α bildet.

Für Teilchen, die spezifisch schwerer als der Schmierstoff sind, ist die Teilchenbahn nach außen zur Rohrinnenwand 16 hin gerichtet, so daß sich nach einer be-

stimmten Entfernung A, die u. a. von der Strömungsgeschwindigkeit, von der Art der die Drallströmung erzeugenden Vorrichtung 12, von der Teilchenmasse m und vom Innendurchmesser D des Sensorkopfes abhängt, die Teilchen an der Rohrrinnenwand 16 befinden.

Spezifisch leichtere Teilchen 19 werden durch die Kräfte der Drallströmung dagegen in die Mitte des Sensorkopfes gefördert.

Die theoretischen Grundlagen zur Berechnung derartiger Drallströmungen in sogenannten "Axialzyklonen" sind aus der Literatur bekannt.

Wie aus Fig. 3a ersichtlich, wird der mit Partikeln beladene Schmierstoffstrom durch den Drallerzeuger 12 so entmischt, daß die spezifisch schwereren Partikel wie z. B. Metallteilchen oder Wassertröpfchen an den Rand 16 der durch den Sensorkopf führenden Bohrung geschleudert werden. Durch diese Entmischung ist die Partikelkonzentration am Rand 16 wesentlich höher als in der Mitte. Dies kann anhand von Fig. 3b, die einen Querschnitt durch den Sensorkopf 1 zeigt, noch detaillierter dargestellt werden. Diese schweren Partikel befinden sich nach der "Drallstrecke A" in dem schraffierten Bereich 20 der Strömung.

Um eine möglichst hohe Empfindlichkeit eines Meßgerätes für solche Partikel zu gewährleisten, wird dieses am besten in dem Bereich 21 angeordnet, in dem die Partikelkonzentration am Rand am höchsten ist, bevor sich durch strömungsbedingte Kräfte die Partikel wieder mit dem Schmierstoffstrom vermischen.

Zur Erfassung von Metallteilchen wird eine vorzugsweise induktiv arbeitende Metallsuchspule mit nachgeschalteter Verstärkerelektronik eingesetzt, die sinnvollerweise in dem in Fig. 3 gezeigten schraffierten Bereich 21 eingebaut wird.

Die Entmischung des Fluidstromes durch den Drallerzeuger bewirkt aber auch, daß andere spezifisch schwerere Teilchen, wie Wassertröpfchen, an den Rand der Suchspule gefördert werden und dadurch einer gezielten Bestimmung zugänglich sind. Wasser im Schmierstoff läßt sich z. B. durch eine Messung der Leitfähigkeitsunterschiede durch einen Sensor vor und einen hinter dem Drallkörper im Bereich 21 erfassen.

Die Entmischung durch den Drallerzeuger 12 bewirkt zusätzlich, daß die spezifisch leichteren Teile, also vor allen Dingen Luftblasen, in die Mitte der Durchlaßbohrung gefördert werden und sich entsprechend Fig. 3a/3b vor allem in dem punktiert dargestellten Bereich 22 befinden. Da die Luftblasen nur sporadisch auftreten, ist eine sichere Erfassung infolge der exakten Lokalisierungsmöglichkeit im Bereich 21 z. B. durch einen optischen Sensor gewährleistet.

Fig. 4 zeigt den prinzipiellen Aufbau der induktiv arbeitenden Suchspule zur Metallpartikelerfassung im Blockschaltbild.

Die Suchspule 34 besteht aus einem Spulenkern 23, um den eine Wicklung 24 aus Lackdraht oder Hochfrequenzlitze gelegt wird. Die so gebildete Spule bildet zusammen mit einem Kondensator 25 einen LC-Schwingkreis. Dieser LC-Schwingkreis wird über eine Koppelwindung 26 induktiv von einem Oszillator 27 erregt und schwingt in Eigenfrequenz. Der anregende Oszillator 27 wird in seiner Amplitude (Signal 28) über eine einem Gleichrichter nachgeschaltete Regeleinheit 29 stabilisiert.

Metallische Partikel 13, die durch die aktive Zone 31 des LC-Schwingkreises gefördert werden, entziehen dieser Spule Energie aufgrund der Wirbelstromverluste an der Oberfläche. Dieser Energieentzug der Spule

führt zu einer Verringerung der Schwingungsamplitude. Schaltungsbedingt wird über den Regelverstärker 29 über die Regelleitung 30 der Oszillator 27 nachgeregt.

Gleichzeitig wird die Regelgröße 30 auf einen Impulsverstärker 32 geführt. Eine Abweichung der Regelgröße in bestimmter Höhe wird vom Impulsverstärker 32 als Metallteil erkannt und z. B. an eine nachgeschaltete Logik 33 weitergegeben. Die Regelgröße 30, d. h. das vom Regelverstärker 29 bei Metaldetektion gelieferte Ausgangssignal, ist proportional zum Energieverlust in der Spule 34.

Metallische Partikel mit großer Oberfläche entziehen dem Spulensystem 34 aufgrund der höheren Wirbelstromverluste mehr Energie, so daß die Regelgröße 30 einen höheren Betrag annimmt. Kleinere Teilchen entziehen dem Spulensystem 34 weniger Energie, so daß die Regelgröße 30 des amplitudengeregelten Oszillators 27 geringer ausfällt.

Die Regelgröße 30 ist damit den durch ein Teilchen hervorgerufenen Wirbelstromverlusten und damit der Teilchengröße direkt proportional. Der Wert der Regelgröße kann als analoges Signal in einer elektronischen Schaltung 39 ausgewertet und dem jeweiligen Durchmesser z. B. mit Hilfe eines Impulshöhenanalysators zugeordnet werden.

Es ist bekannt, daß Teilchen aus unterschiedlichen Materialien unterschiedliche Wirbelstromverluste bei gleicher Größe hervorrufen. Stahlteilchen weisen dabei die höchsten Wirbelstromverluste, Kupferteilchen die geringsten Wirbelstromverluste auf.

Fig. 5 zeigt den Aufbau einer derartigen Metallsuchspule im Inneren des Sensorkopfes.

Im Inneren des druckfesten Gehäuses 40 befindet sich ein Spulenkörper 23 aus elektrisch nicht leitfähigem Material, wie z. B. Kunststoff, Glas oder Keramik. Auf diesem Spulenkörper 23 befindet sich konzentrisch angeordnet die mit Hochfrequenz arbeitende, induktive Spule 24, die zusammen mit dem Kondensator 25 einen LC-Schwingkreis bildet. Die Ankoppelung der Spule 24 an die Regelelektronik 27 und 29 erfolgt mit Hilfe der Ankoppelspule 26.

Das gesamte Spulensystem befindet sich im Inneren eines Ferritringes 41, der entweder ein geschlossener Ring oder aus einzelnen Segmenten zusammengesetzt ist. Dieser Ferritring 41 dient dazu, das im Inneren der induktiven Spule herrschende elektromagnetische Wechselfeld 31 zu konzentrieren und eine Streuwirkung nach außen zu verhindern.

Die elektrische Verbindung 42 zwischen der im unter Druck stehenden System liegenden Spule und der drucklosen Umgebung erfolgt z. B. über eine Glasdurchführung, bei der einzelne Anschlußdrähte 44 durch Glaseinschmelzungen 45 isoliert in einem metallischen Gehäuse 43 untergebracht sind. Derartige Glasdurchführungen sind bekannt.

Der den Schwingkreis bestimmende Kondensator 25 befindet sich im drucklosen Bereich außerhalb des Sensors und wird möglichst nahe an der Durchführung 43 befestigt.

In der Praxis können beim Einsatz in unter Druck stehenden Leitungssystemen bei nicht optimiertem Aufbau des Sensorkopfes Störungen bzw. Störimpulse auftreten, die dem Betreiber das Vorhandensein von Partikeln suggerieren. Dies tritt insbesondere beim Einfluß von hohen Drücken P1 bzw. Druckspitzen im Inneren 46 des Sensorkopfes auf. Die Ursache für diese Störungen ist die bei "geschlossenem" Spuleneinbau normalerweise zwischen dem Inneren der Sensorspule 46 und

ihrer Rückseite 47 auftretende Druckdifferenz $P = P_1 - P_2$. Diese Druckdifferenz bewirkt bei einem elastischen Spulenkörper 23 z. B. aus Kunststoff aufgrund der druckabhängigen Kräfte auf den Spulenkörper eine radiale Dehnung und damit eine geringfügige Streckung oder Verlängerung der Hochfrequenzlitze der Spule 24, was eine Veränderung der Güte des LC-Schwingkreises zur Folge hat. Diese Güteveränderung wird von der Elektronik 27, 29 als "Teilchen" ausgewertet. Bei einem starren Spulenkörper 23, der z. B. aus Glas gefertigt ist, besteht bei niedrigen Wandstärken Bruchgefahr oder es muß aus Festigkeitsgründen bei hohen Drücken eine relativ dicke Wandstärke gewählt werden, was eine wesentliche Reduzierung der Empfindlichkeit zur Folge hat.

Bei der erfindungsgemäßen Ausführung der Metallsuchspule handelt es sich um ein "druckausgeglichenes" System. Dabei wird der Raum zwischen dem Spulenkörper 23, der Spule 24, 26, dem Ferritring 41 und dem äußeren, abschließenden Gehäuse 40 durch eine elastische Masse 49, z. B. ein Silikongel, ausgefüllt. Der Spulenkörper 23 weist mehrere Öffnungen 48 auf, die vor und/oder hinter der Spule 24, 26 angebracht sind. Bei einer Belastung durch den im Inneren des Systems herrschenden Druck P_1 pflanzt sich dieser wegen der Elastizität der Vergußmasse 49 durch die Verbindungsöffnungen 48 auf die Rückseite 47 des Spulensystems fort, so daß es sich um ein druckausgeglichenes System handelt, bei dem $P_1 = P_2$ ist und dadurch nahezu keine Differenzdrücke auftreten.

Durch den Druckausgleich vor und hinter dem Spulensystem werden druck- oder druckstoßbedingte Verformungen des Spulensystems 23, 24, 26 ausgeglichen. Auf diese Art und Weise werden sämtliche Fehlermöglichkeiten, die durch statischen oder Wechseldruck auftreten können, eliminiert.

Fig. 6 zeigt eine erfindungsgemäße Lösung zur Erhöhung der Empfindlichkeit der induktiven Suchspule bzw. zur Vereinfachung der Partikelgrößenunterscheidung.

Die Feldverteilung im Inneren der induktiven Ringspule 34 ist nicht über den gesamten Querschnitt konstant. Bei einer kreisförmigen Spule entsprechend Fig. 6a ergibt sich der in Fig. 6b dargestellte Empfindlichkeitsverlauf. Die Empfindlichkeit E im Mittelpunkt M des Spulensystems ist dabei am geringsten, die Empfindlichkeit am äußersten Rand R der Spule ist am höchsten. Ein und dasselbe Teilchen 49 ruft in der Mitte 50 der Spule 34 einen geringeren Wirbelstromverlust und damit eine geringere Regelgröße 30, am Rande 51 der Spule die höchste Regelgrößenänderung 30 hervor.

Entsprechend der Erfindung wird dafür gesorgt, daß sich metallische Partikel immer in einem definierten Bereich 48 (schraffiert gezeichnet) der Spule befinden. Damit kann aufgrund der Regelgrößenänderung 30 auf die Größe des Teilchens 49 geschlossen werden.

Es ist damit möglich, über eine analoge oder digitale Weiterverarbeitung des Regelgrößensignals 30 z. B. durch einen einfachen Impulshöhenanalysator 60, eine Partikelklassifizierung durchzuführen.

Erfindungsgemäß wird die Regelgrößenänderung 30 zur Erfassung der Teilchengröße verwendet.

Für die Teilchenerkennung bedeutet dies, daß das sogenannte "Grenzteilchen", also das Metallteilchen 49, das gerade noch vom Spulensystem erkannt wird, am Rand (schraffierter Bereich 48 in Fig. 6a) wesentlich kleiner sein kann, als in der Mitte 50 der Spule.

Zur Erkennung möglichst kleiner Metallpartikel 49 in

der Flüssigkeit werden die Metallpartikel erfindungsgemäß durch strömungstechnische Maßnahmen wie der oben beschriebenen Dralleinrichtung 12 Strömungskräften ausgesetzt, so daß sie ganz gezielt aus der normalen Strömungsrichtung zum äußeren Spulenrand 51 hin beschleunigt bzw. bewegt werden und dadurch immer möglichst nahe an der Spule (d. h. im schraffierten Bereich 48 entsprechend Fig. 6a) vorbeigefördert werden.

Des weiteren ist für die Unterscheidung der Partikelgrößen wesentlich, daß alle Teilchen stets einen Bereich möglichst gleicher Empfindlichkeit 48 durchlaufen, wobei sinnvollerweise ebenfalls der Bereich mit der höchsten Empfindlichkeit genutzt wird.

Erfindungsgemäß erfolgt diese Drallerzeugung durch einen im Einlaufbereich des Sensorkopfes eingebauten Strömungskörper 12.

Fig. 7 zeigt eine mögliche Ausführungsform eines solchen Strömungskörpers.

Erfindungsgemäß wird zur Ablenkung der spezifisch schwereren Metallteile 52 zur Spulenwand 51 die in Fig. 3 bereits angedeutete Einrichtung zur Erzeugung einer Drallströmung, ein sogenannter Drallkörper 53, verwendet. Der Drallkörper 53 wird bevorzugt durch mehrere, unter einem bestimmten Winkel schräg zur Strömungsrichtung bzw. schräg zur Rohrlängsachse angeordnete Schaufeln 54 ausgebildet, die in einem bestimmten Abstand S von der Spule 34 entfernt am Umfang des Spulenkörpers 51 bzw. des Einlaufrohres oder der Gehäusebohrung im Sensor befestigt sind.

Beim Durchströmen dieses Drallkörpers 53 wird die Flüssigkeit in eine in der Fig. 7 durch einen Stromfaden 55 skizzierte Drallströmung 35 versetzt, so daß die Partikel durch Störungs- und Beschleunigungskräfte zum Rand 51 hin und damit in die Zone höchster Empfindlichkeit der Spule gefördert werden.

Der Drallkörper kann in verschiedenen Ausführungsformen ausgeführt werden. Vorteilhaft sind dabei Lösungen, die einen möglichst geringen Strömungswiderstand aufweisen und dazu z. B. ausschließlich Schaufeln 54, am äußeren Rand der Gehäusebohrung aufweisen, die jedoch so tief in das Rohr hineinragen, daß der Strömung über den gesamte Rohrquerschnitt ein Drall aufgeprägt wird.

Der optimale Abstand des Drallkörpers von der Metallsuchspule wird zweckmäßigerweise nach der mittleren Durchflußgeschwindigkeit des Schmierstoffes ausgelegt.

Eine weitere Ausbildung einer solchen Einrichtung zeigt Fig. 8.

Erfindungsgemäß wird dabei die Strömung tangential zum Spulenkörper 11 in den Sensor geleitet. Durch dieses tangentiale Einstromen ähnlich wie bei einem Zyclon wird die Flüssigkeit ebenfalls in eine Drallströmung versetzt. Die Partikel werden durch die bereits oben beschriebenen Kräfte zum Rand des Spulenkörpers hin beschleunigt. Es erfolgt ebenfalls eine Entmischung der spezifisch schwereren Metall- und Wasser- teilchen und der spezifisch leichteren Luftbläschen.

Fig. 9 zeigt eine weitere Lösung zur Steigerung der Empfindlichkeit des induktiven Sensors gegenüber metallischen Partikeln.

Physikalisch bedingt ist die Empfindlichkeit eines induktiven Sensors abhängig vom freien Durchmesser der Suchspule. Man kann üblicherweise davon ausgehen, daß das kleinste zu erfassende Metallteilchen etwa 1% vom freien Durchmesser der Suchspule beträgt.

Um insbesondere bei großen Leitungsquerschnitten

eine ausreichend hohe Empfindlichkeit gegenüber kleinen Metallteilchen zu haben, wird erfindungsgemäß der große Durchmesser der Suchspule auf mehrere Suchspulen 11a, b, c mit möglichst kleinem Durchmesser aufgeteilt. Dies hat auch sehr geringe Druckverluste zur Folge. Um die Druckverluste beim Einlauf in das Spulensystem noch weiter zu verringern, wird ein strömungsgünstig aufgebautes Vorsatzstück 101 eingebaut.

Diese n Sensoren werden entsprechend Fig. 9 parallel angeordnet. In jedem Sensorrohr 102 kann sich ebenfalls ein Drallkörper 12 befinden. Die n Sensorspulen können aus n einzelnen Spulen mit n zugeordneten Oszillatoren und Regelverstärkern aufgebaut werden, wobei jede einzelne Sensorspule mit einer anderen Frequenz schwingen muß, um eine gegenseitige Beeinflussung der Spulen zu vermeiden. Die Frequenzbeeinflussung ist durch Variation der Zahl der Windungen der HF-Litze oder des Kondensators möglich.

Eine andere Lösung ist der Aufbau aus einem Spulensystem mit einem einzigen Oszillator und Regelverstärker. Dazu werden alle Spulen mit einer einzigen HF-Litzenwicklung gewickelt. Es ist ebenfalls nur eine einzige Ankoppelwindung erforderlich, die um alle Einzelspulen gelegt ist. Dieser Aufbau hat eine wesentliche Vereinfachung zur Folge.

Der zur Feldkonzentration erforderliche Ferritring wird dabei z. B. als ein einzelner Ring 103 um alle Sensorspulen gelegt, oder es wird jede einzelne Spule mit einem entsprechenden Ferritring versehen.

Die Druckfestigkeit dieses Sensorsystems wird ebenfalls über einen auf der Rückseite der Sensoren angebrachten elastischen Verguß erreicht.

Fig. 10 zeigt das schematisierte Blockschaltbild einer möglichen, vorzugsweise digitalen Signal-Weiterverarbeitung zur Auswertung der Impulshöhen und damit zur Bestimmung der Größe von metallischen Teilchen.

Die Regelspannung 30 wird auf einen elektronischen Schaltbaustein 60 gegeben. Dieser Baustein ist vorzugsweise ein Analog-Digitalwandler, der das analoge Eingangssignal 30 in ein digitales Ausgangssignal 61 wandelt. Mit Hilfe einer digitalen Auswerteschaltung 62, die vorzugsweise von einem Mikroprozessor 63 kontrolliert wird, ist es möglich, die in digitale Signale gewandelten Regelspannungen 30 aufgrund ihrer Impulshöhen einzelnen Speicherbereichen 64, 65 usw. zuzuordnen. Die Klassengrenzen der einzelnen Speicherbereiche können über eine Eingabemöglichkeit 66 individuell eingestellt werden.

Zusätzlich ist es möglich, über eine Eingabe 66 den einzelnen Speicherbereichen 64, 65 bestimmte maximale Speicherinhalte vorzugeben. Nach Erreichen einer bestimmten Summe von Teilchen innerhalb der einzelnen Klassen bzw. Speicherbereiche ist es möglich, einen Alarm 67, 68 zu geben.

Darüber hinaus ist es möglich, z. B. über eine Digitalanzeige 60 die aktuellen Speicherinhalte 64, 65 oder die Gesamtsumme der Speicherinhalte 64 + 65 und damit die Anzahl der Partikel insgesamt auszugeben oder graphisch darzustellen.

Für bestimmte Anwendungen kann es sinnvoll sein, wenn zusätzlich ein zeitbestimmendes Element 70 verwendet wird. Dadurch wird eine Alarmgabe in Abhängigkeit des Partikelauflommens von der Zeit möglich. Die Schaltung wird dann über das Programm, das in einem Baustein 71 abgelegt ist, so beeinflusst, daß ein Alarm 67, 68 erst dann gegeben wird, wenn innerhalb einer definierten, einstellbaren Zeit T eine bestimmte Teilchensumme in den einzelnen Klassen erreicht wird.

Bleibt die Teilchensumme pro Zeit unterhalb einer kritischen, vorgegebenen Schwelle, wird kein Alarm gegeben. Zufällige, für den Ausfall eines Maschinenelementes nicht relevante einzelne Partikel führen somit nicht zu einem Alarm. Damit wird die Betriebssicherheit des Überwachungssystems und die Möglichkeit von Fehlalarmen reduziert.

Fig. 11 zeigt eine erfindungsgemäße Ausführung einer Vorrichtung zur Erkennung von im Schmierstoff enthaltenem Wasser.

Zur Wassererkennung wird ausgenutzt, daß sich die spezifischen Gewichte der meisten Schmierstoffe (meist ca. 0,9 kg/l) vom spezifischen Gewicht von Wasser (1 kg/l) unterscheiden. Beim Durchströmen des Schmierstoffes durch den Drallkörper im Sensorkopf erfolgt also auch eine teilweise Entmischung des Wassers aus dem Schmierstoff.

Des weiteren wird ausgenutzt, daß sich die Leitfähigkeiten von Wasser und Schmierstoff (z. B. Mineralöl) voneinander unterscheiden. Eine Wassererkennung im Schmierstoff-Kreislauf läßt sich somit z. B. mit Hilfe einer Leitfähigkeitsmessung durchführen. Dazu werden zwei Sensoren 80 und 81 zur Leitfähigkeitsmessung in den Sensorkopf eingebracht und dort vom Schmierstoff umspült.

Der erste Leitfähigkeits-Sensor 80 wird vor dem Drallkörper 12 am Rande des Einlaufs in den Sensorkopf eingebaut und vom Schmierstoff umspült. Die Leitfähigkeit wird über die Auswerteelektronik S1 82 des Sensors 80 bestimmt.

Stromabwärts befindet sich im Sensorkopf die drallerzeugende Vorrichtung 12, durch die der Schmierstoff und das Wasser durch die oben beschriebenen Vorgänge entmischt werden.

Am Ende dieser "Entmischungsstrecke" 55 befindet sich der zweite Leitfähigkeitssensor 81 am Rande der durch den Sensorkopf führenden Bohrung, der ebenfalls von der Flüssigkeit umspült wird. Die Leitfähigkeit wird über die Auswerteelektronik S2 83 des Sensors 81 bestimmt.

Wenn der Schmierstoff keine Wassertropfchen enthält, findet keine Entmischung statt. Es messen beide Sensoren 80 und 81 die gleiche Leitfähigkeit und haben damit den gleichen elektrischen Ausgang, so daß am Ausgang z. B. eines Differentialverstärkers 84 kein Signal vorliegt.

Vollständig im Schmierstoff gelöste Additive, Fremdstoffe oder chemische Veränderungen des Schmierstoffes z. B. durch die Alterung des Schmierstoffes oder andere Einflüsse können zu einer chemischen Veränderung und damit u. U. zu einer Leitfähigkeitsveränderung des Schmierstoffes gegenüber den ursprünglichen Werten führen. Eine derartige Veränderung der Leitfähigkeit würde beim Einsatz nur eines einzelnen Sensors 80 oder 81 ein Signal "Wasser vorhanden" und damit einen Fehlalarm bewirken.

Die Erfindung nutzt aus, daß vollständig gelöste Stoffe zwar eine Veränderung der Leitfähigkeit bewirken, aber nicht zu einer Entmischung oder Konzentrationsänderung durch die drallerzeugende Vorrichtung 12 führen. Unterschiede der zwischen den durch die beiden Sensoren 80 oder 81 gemessenen Leitfähigkeiten treten also nicht auf.

Ist der Schmierstoff dagegen durch Wasser verunreinigt, tritt durch die hohe Beschleunigung durch den Drallkörper 42 im Sensorkopf eine teilweise Entmischung zwischen Schmierstoff und Wasser auf. Die Konzentration des Wassers ist dann nicht mehr über

den Querschnitt der Rohrleitung nahezu konstant, sondern es tritt eine Erhöhung der Wasserkonzentration am Rand 31 auf. Dies ist durch die unterschiedlichen spezifischen Gewichte von Schmierstoff und Wasser bedingt. Infolge der Entmischung ist die Wasserkonzentration im entsprechend Fig. 3a schraffierten Gebiet 20 am Rand 16 der Bohrung des Sensorkopfes größer als in der Mitte, so daß ein Leitfähigkeitsunterschied zwischen Sensor 80 und Sensor 81 über den Differenzverstärker 81 gemessen werden kann.

Durch diesen Leitfähigkeitsunterschied ist ein eindeutiger Nachweis von Wasser im Schmierstoff möglich.

Fig. 12 zeigt eine Weiterbildung der Erfindung zur Erfassung von Luftblasen durch eine Streulichtmessung.

Das Vorhandensein von Luftblasen 81 ist ein wichtiger Indikator für einen Fehler in einer fluidtechnischen Anlage. So geben plötzlich auftretende Bläschen dem Betreiber einen Hinweis darauf, daß Leckagen aufgetreten sind oder daß sich bestimmte Betriebsparameter der Anlage in unerwünschte Richtung verändert haben und daraus folgend eine Funktionsbeeinträchtigung droht. Für den Betreiber einer hydraulischen oder schmierungstechnischen Anlage ist es besonders wichtig, das Vorhandensein von Luftblasen im Flüssigkeitskreislauf zu erfassen.

Zur Luftblasenerkennung wird z. B. ein optisches Sensorsystem 90 verwendet, das das bei Bestrahlung eines Luftbläschens auftretende Streulicht 91 erfaßt. Derartige Streulichtmeßgeräte sind bekannt. Sie werden in der Technik zum Erfassen von Teilchengrößen, Trübungsmessungen usw. eingesetzt.

Das Sensorsystem wird im Sensorkopf an der schraffierten Stelle 21 eingebaut und senkrecht oder in bestimmtem Winkel zur Längsachse der Bohrung durch das Gehäuse angeordnet.

Patentansprüche

1. Vorrichtung zum Erfassen von in einem durch ein Rohrleitungssystem transportierten Fluid befindliche metallische oder in Form von Luftbläschen oder Wassertröpfchen vorliegende Partikel mit vom Fluid unterschiedlichem spezifischem Gewicht, wobei die Teilchen durch einen Sensorkopf erkannt und elektronisch erfaßt werden, **dadurch gekennzeichnet**, daß die durch den Sensorkopf strömende Flüssigkeit in eine Drallströmung versetzt wird, so daß aufgrund der auf die Partikel einwirkenden Kräfte und Beschleunigungen und der unterschiedlichen spezifischen Gewichte die Partikel gezielt in zur Erfassung und zur größenmäßigen Vermessung dieser Verunreinigungen geeignete Zonen im Inneren des Meßkopfes geschleudert werden, die sich zur Erfassung der spezifisch schwereren Teilchen durch geeignete Meßverfahren bevorzugt am äußeren Rand, zur Erfassung der spezifisch leichteren Teilchen in der Mitte des Durchganges durch den Sensorkopf befinden.
2. Vorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß als Sensor für metallische Partikel eine an sich bekannte induktiv arbeitende Spule vorgesehen ist, welche die Drallströmung im Bereich der maximalen Entmischung umgibt und die in diesem Bereich die höchste Empfindlichkeit aufweist.
3. Einrichtung nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß die induktive Suchspule als geregelter Oszillator aufgebaut ist, bei dem das Regelsignal

einen der Partikelgröße proportionalen Betrag annimmt.

4. Einrichtung nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, daß das analoge Regelsignal über eine Auswerteschaltung in verschiedene, individuell einstellbare Größenklassen einstellbar ist und die einzelnen Signale in den Klassen separat aufsummiert werden.

5. Einrichtung nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß die induktive Spule so in ein druckfestes Gehäuse eingebaut ist, daß sich zwischen Spule und Gehäuse ein verformbares Material befindet, das eine Übertragung des Rohrleitungsdruckes bis hinter die Spule bewirkt.

6. Verfahren nach Anspruch 1 zum Erkennen von im Fluid befindlichen Wassertröpfchen, dadurch gekennzeichnet, daß ein zur Detektion der Wasserkonzentration geeigneter Sensor vor dem Drallkörper die Wasserkonzentration im nicht entmischten Fluid mißt und ein zweiter Sensor die Wasserkonzentration nach Durchlaufen des Drallkörpers und nach Entmischung des Fluids mißt, so daß aufgrund der Unterschiede zwischen den Ausgangssignalen der beiden Sensoren eine Messung auch kleiner Wasserkonzentrationen im Fluid möglich ist.

7. Verfahren nach Anspruch 1 zum Erkennen von im Fluid befindlichen Luftbläschen, dadurch gekennzeichnet, daß als Sensor für Luftbläschen ein an sich bekannter optischer Sensor verwendet wird, der diese nach Entmischung des Schmierstoffes durch den Drallkörper und daraus folgender Konzentration der Luftblasen in der Mitte des Fluidstroms detektiert.

8. Einrichtung zur Luftblasenerkennung in Fluiden nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der Sensorkopf ein an sich bekanntes, auf dem Streulicht- oder Reflexlichtprinzip passierendes Detektorsystem aufweist, das auf das Zentrum des Fluidstroms fokussiert ist.

9. Einrichtung zur Durchführung des Verfahrens nach Anspruch 1, gekennzeichnet durch die gemeinsame Anwendung der Merkmale der Ansprüche 2 bis 8.

Hierzu 12 Seite(n) Zeichnungen

— Leerseite —

FIG. 1

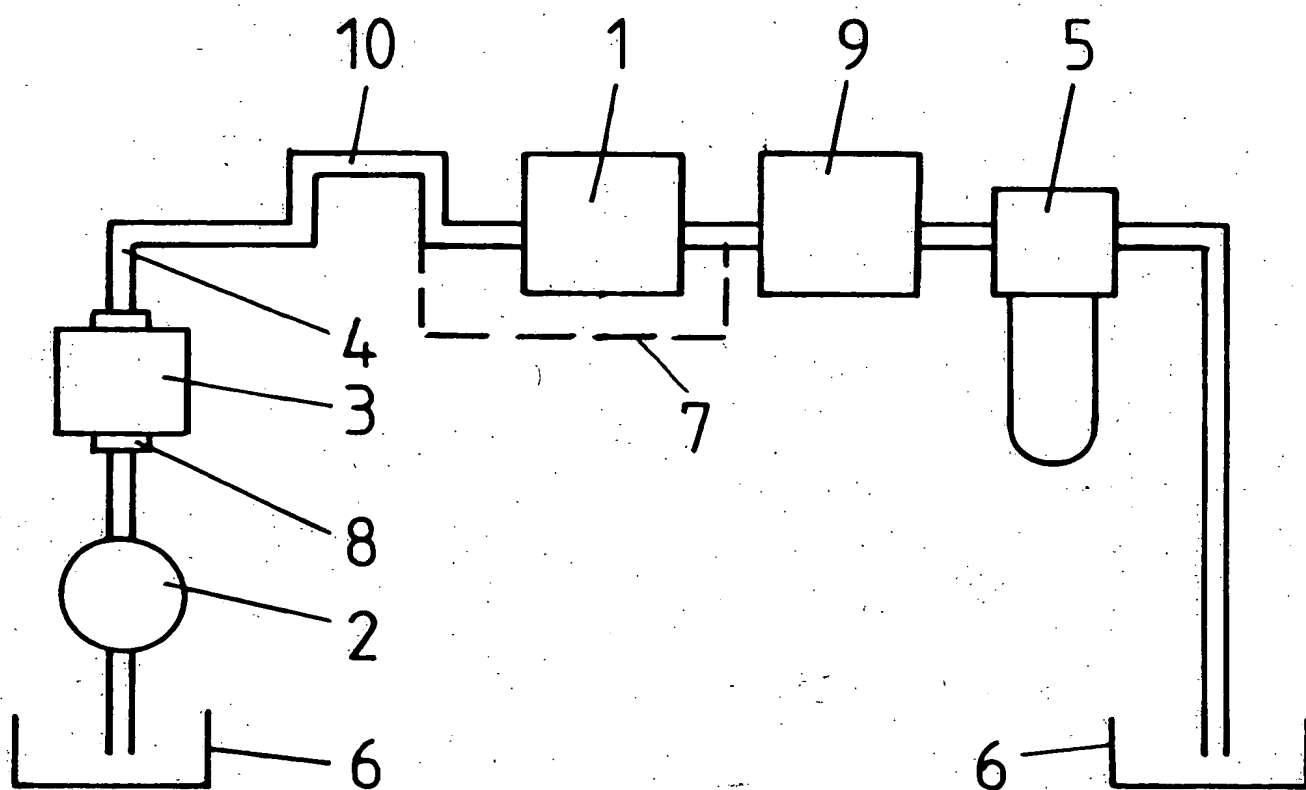


FIG. 3a

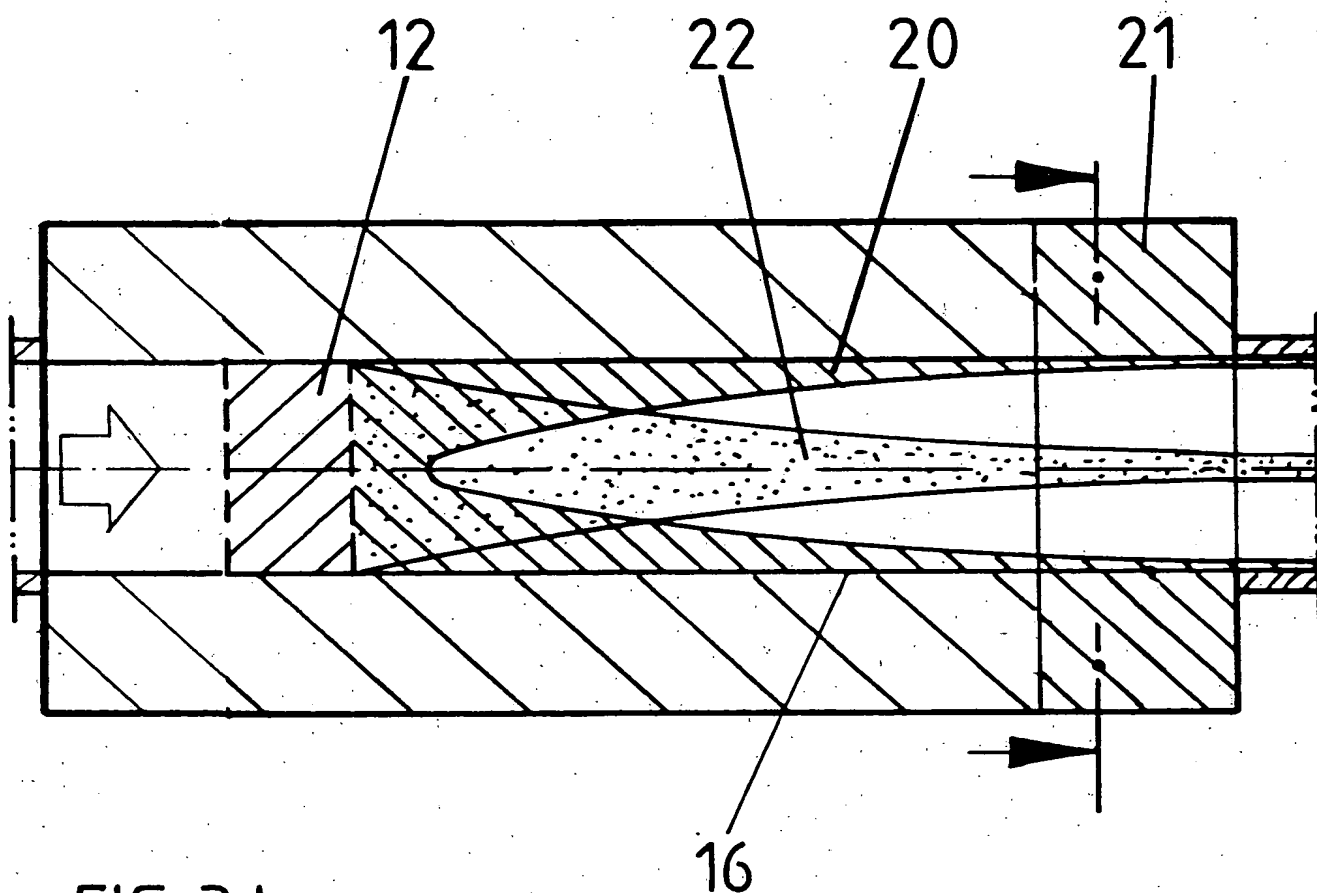


FIG. 3 b

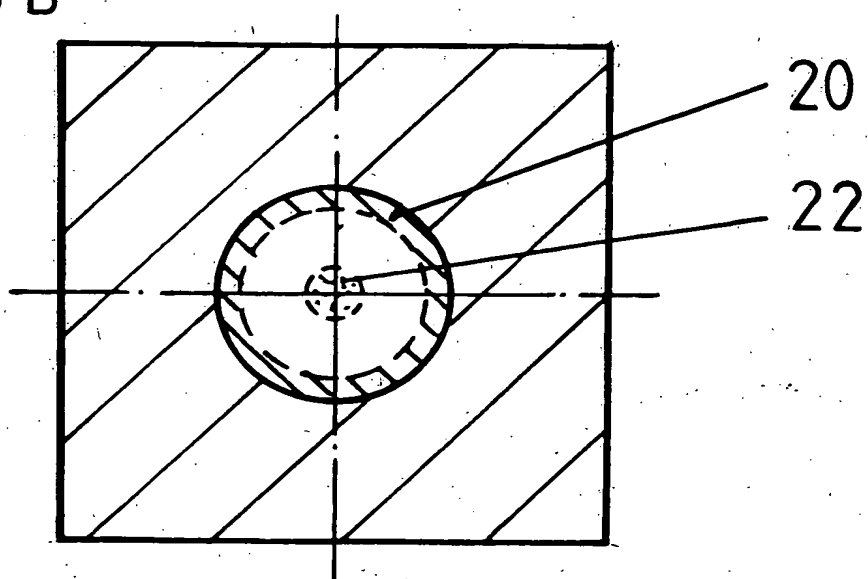


FIG. 5

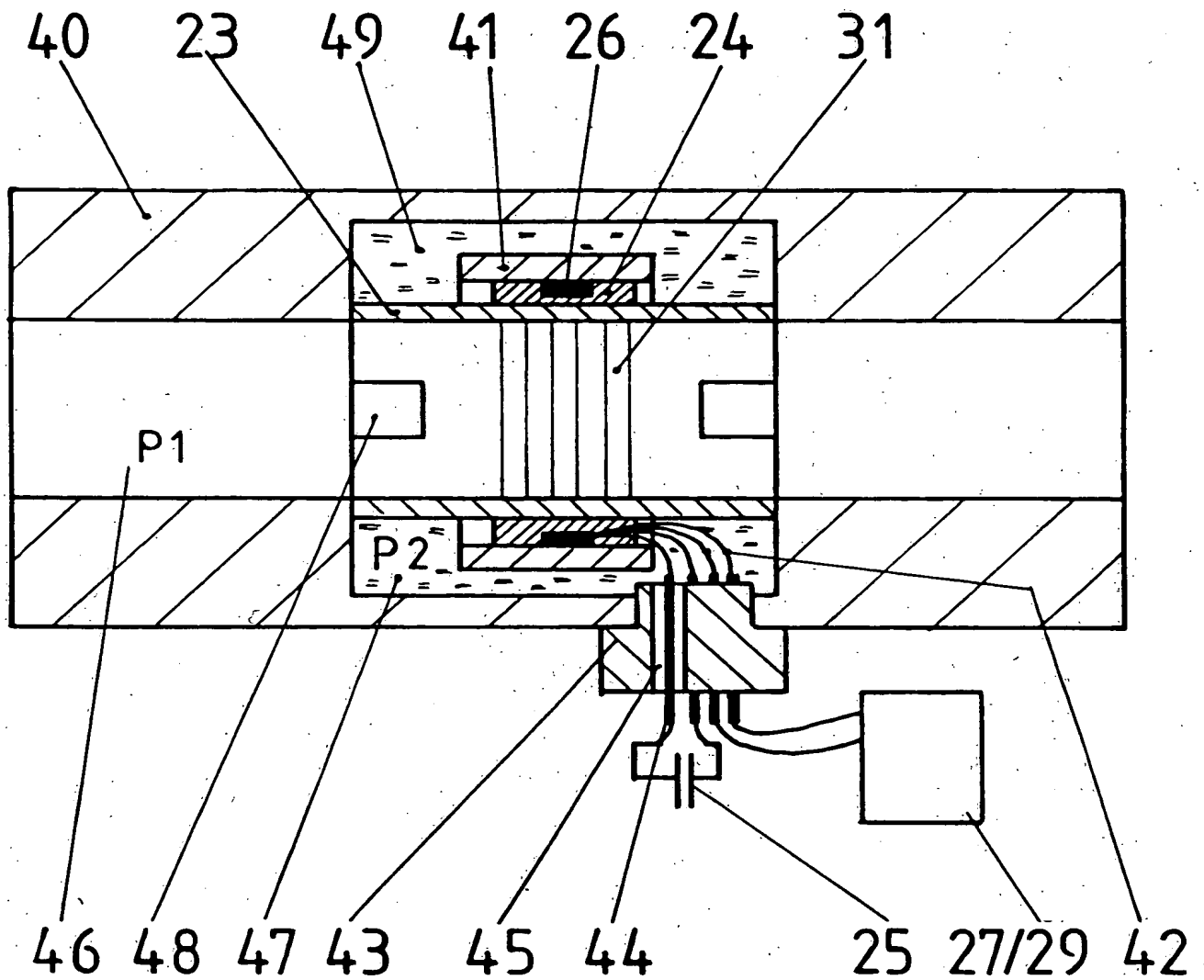


FIG. 6a

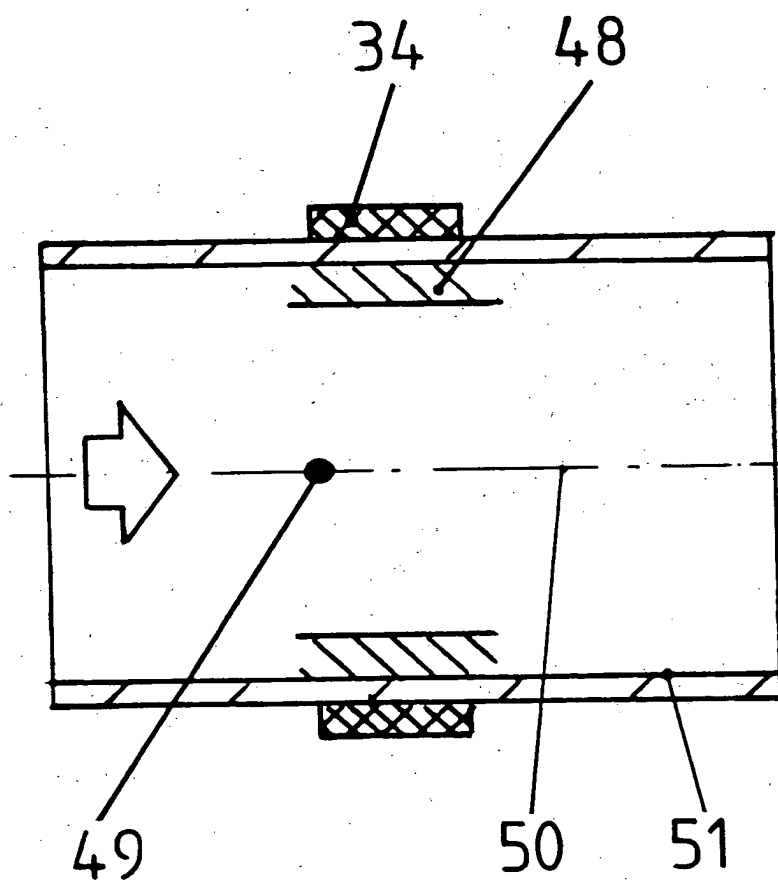


FIG. 6b

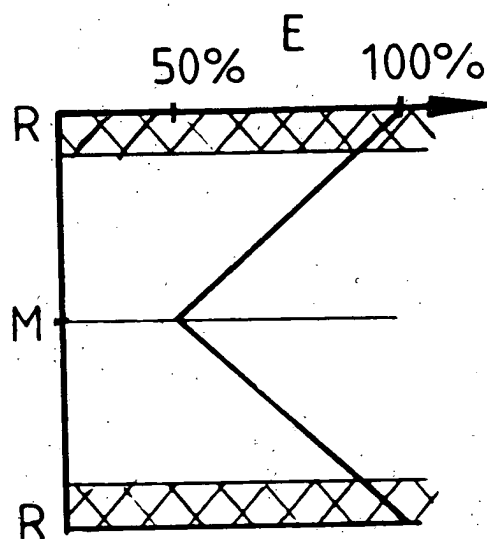


FIG. 7

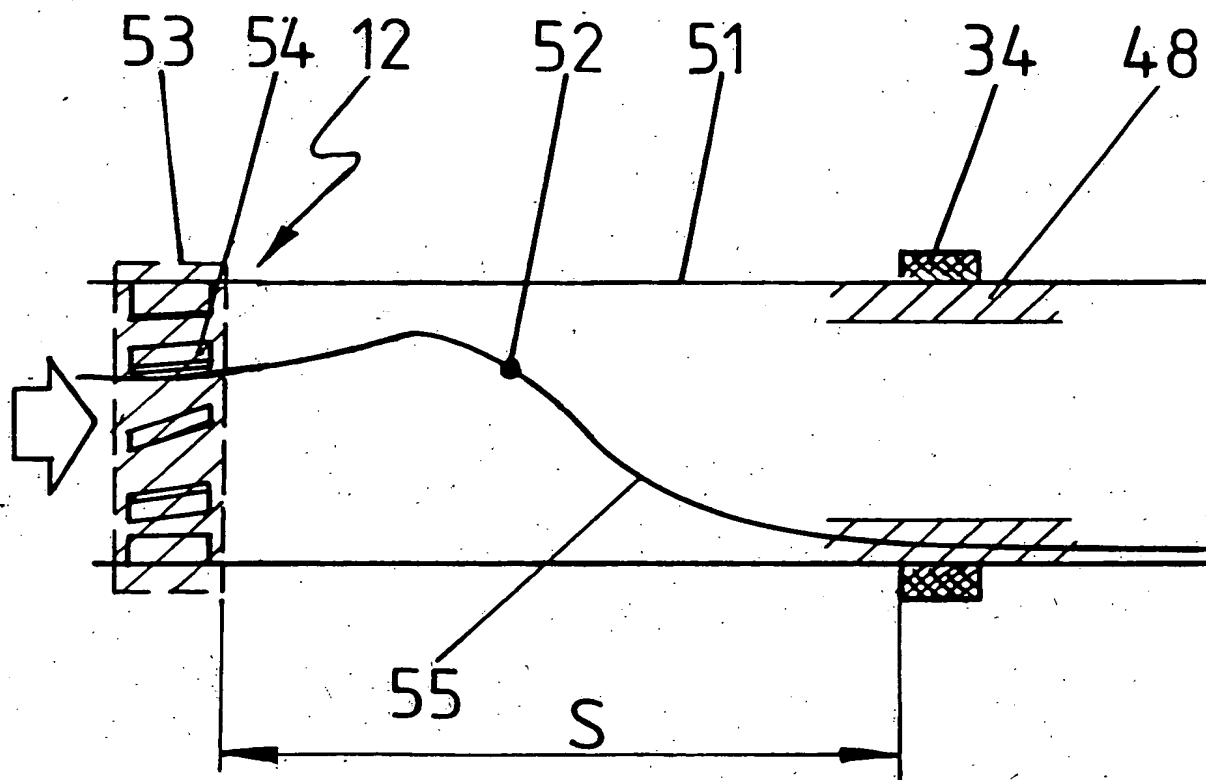


FIG. 8

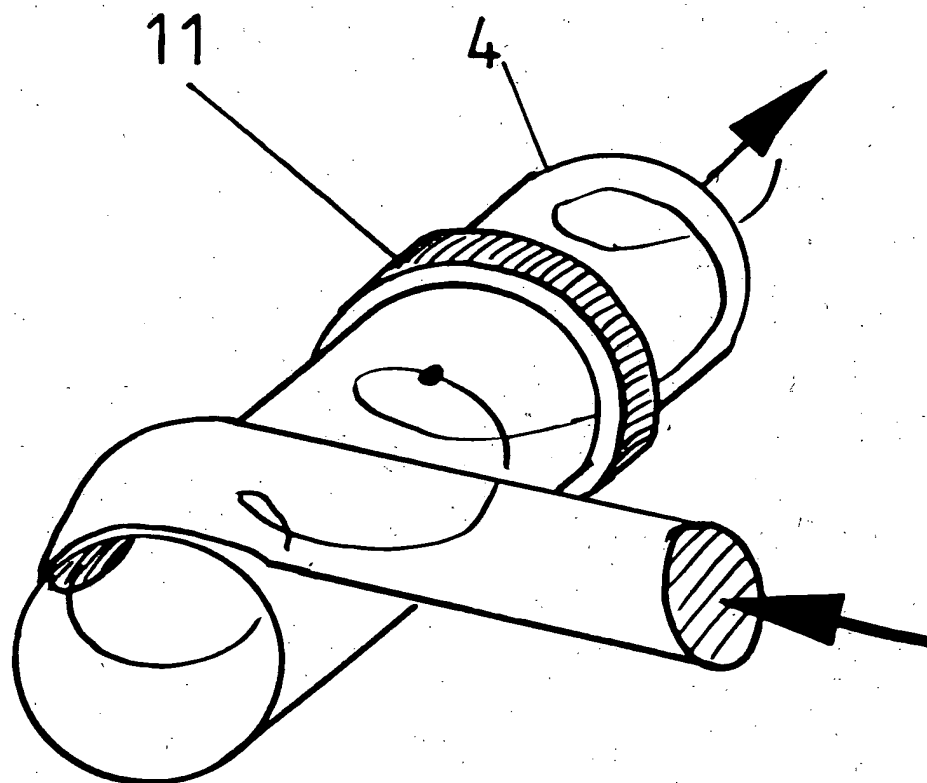


FIG. 9

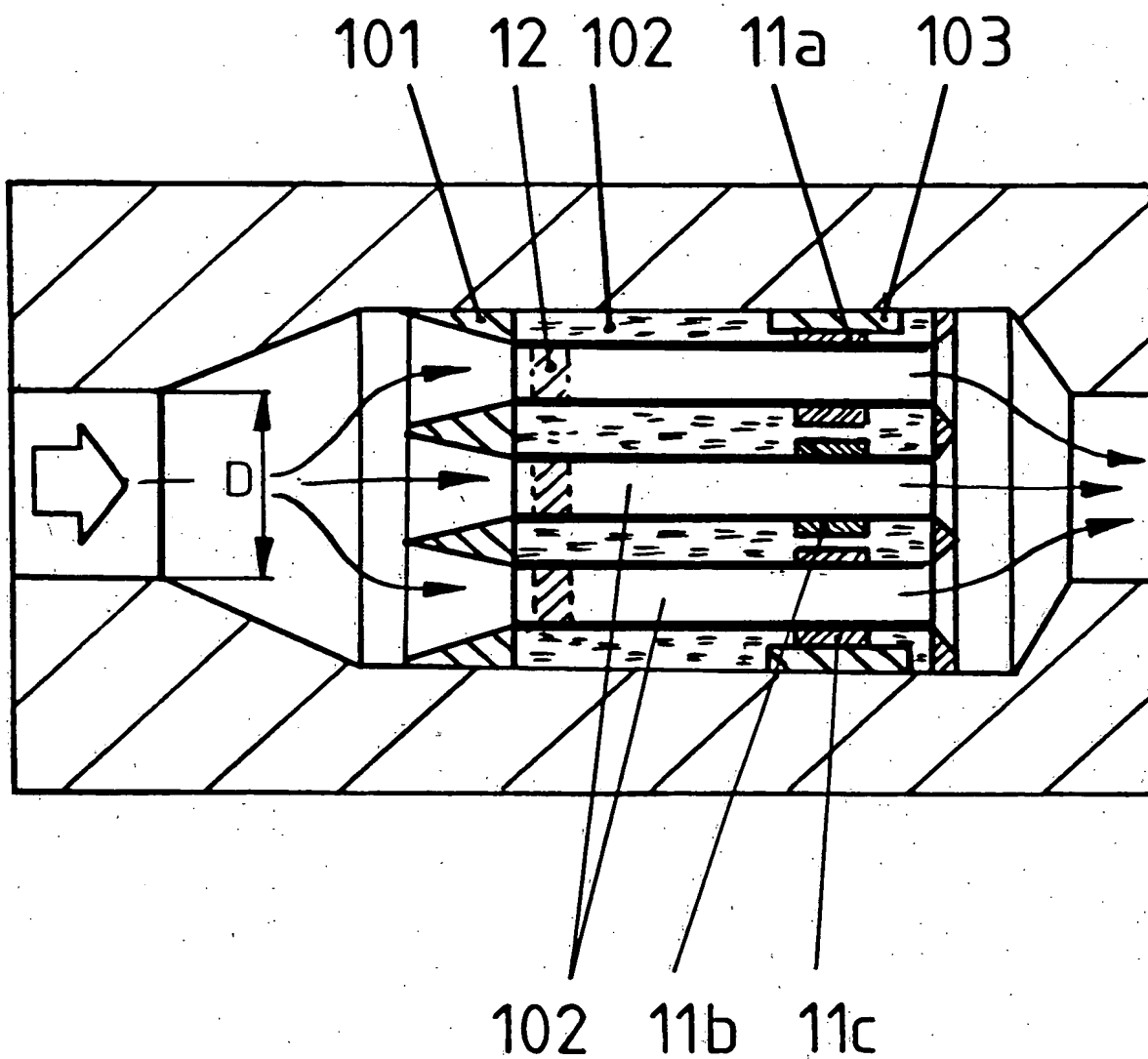


FIG. 10

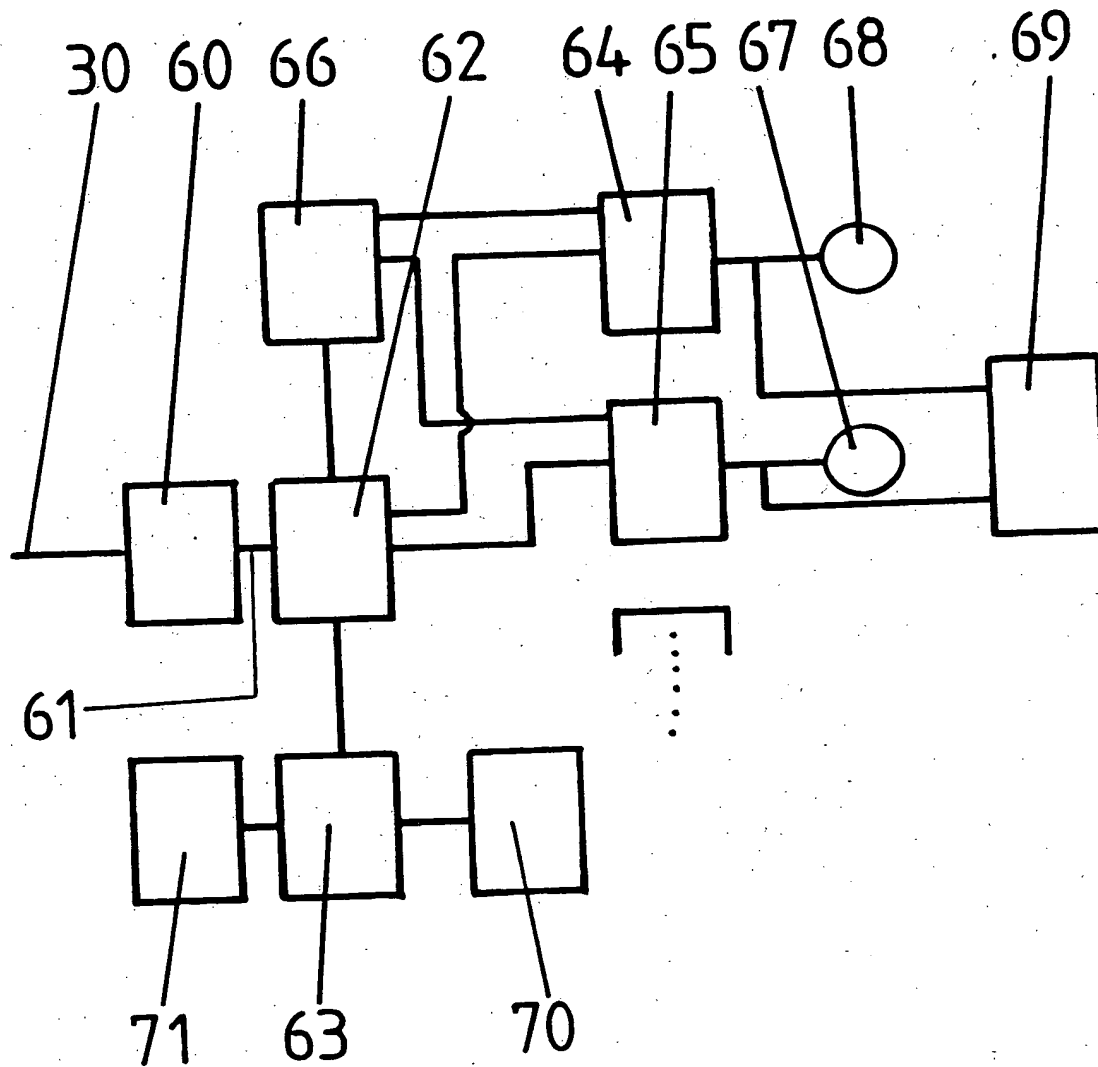


FIG.11

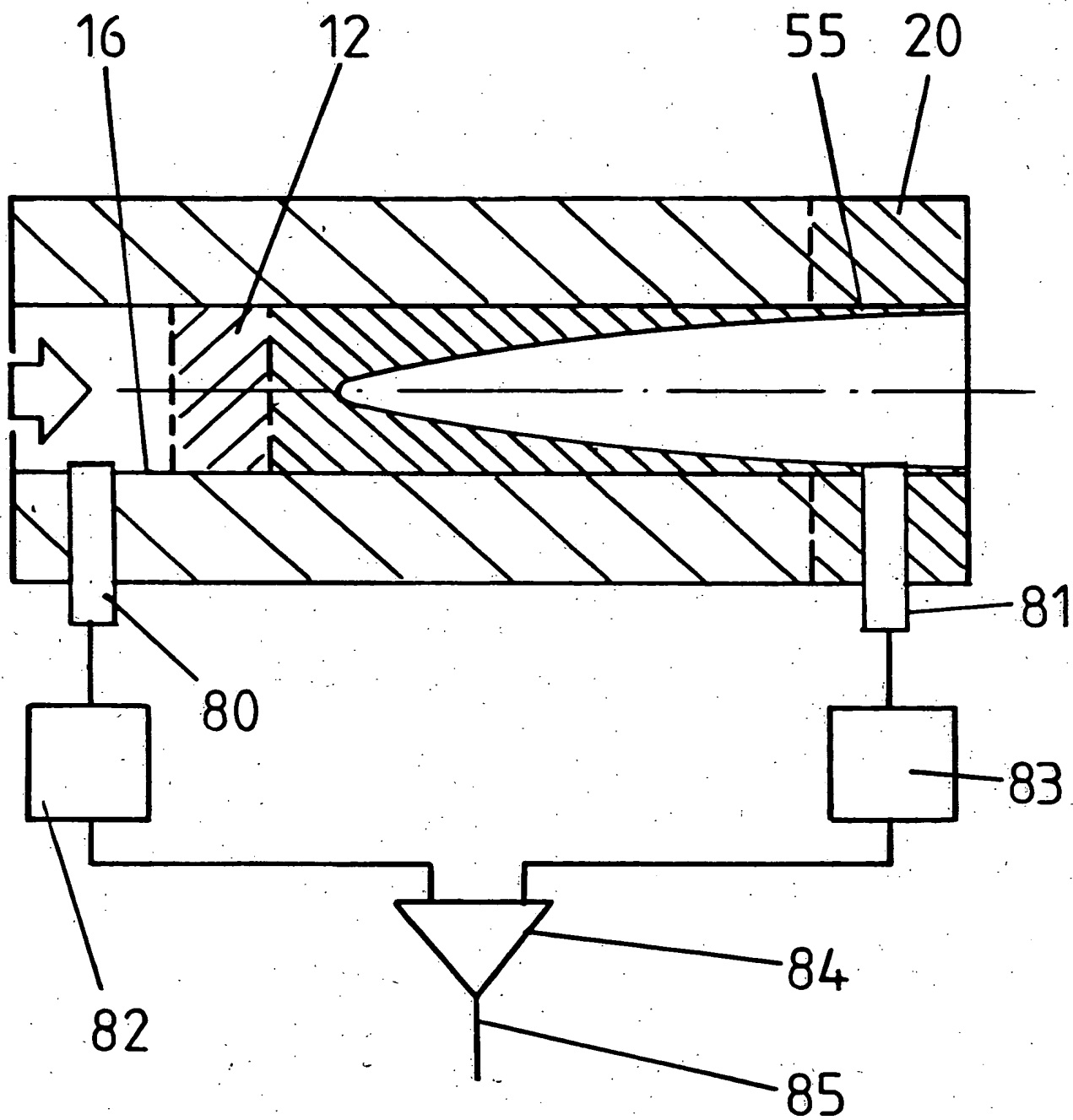


FIG. 12

